Bestimmung des physikalischen Baues des Auges.

Experimentelle Studien

von

Prof. Dr. Schoeler.

Einleitung.

Die ersten Messungen, welche am lebenden menschlichen Auge ausgeführt worden sind, knüpfen sich an den Namen des berühmten englischen Physiologen Th. Young (1801). Derselbe mass mit staunenswerther Schärfe mittelst Cirkel den Hornhautdurchmesser und die Hornhauthöhe und bestimmte daraus den Krümmungsradius derselben. Alsdann 1830 berechnete Kohlrausch aus der Grösse der Spiegelbildchen der Hornhaut, welche derselbe mittelst Fernröhren mass, der bekannten Grösse und dem bekannten Abstande des leuchtenden Objectes den Krümmungshalbmesser der Hornhaut in ihrem Scheitel. Zwei Jahre später (1841) veröffentlichte Gauss seine epochemachenden „dioptrischen Untersuchungen", welche auch für die Erkenntniss des physikalischen Bau's des zusammengesetzten Systems des menschlichen Auges bahnbrechend wirken sollten, da in denselben im Gegensatz zu seinen Vorgängern Cotes, Euler, Lagrange und Möbius auf die Linsendicke, wie den Abstand der brechenden Flächen von

einander Rücksicht genommen war. Indem derselbe analytisch geometrisch den Gang eines Lichtstrahls durch eine unendliche Reihe brechender Flächen von verschiedener Krümmung und verschiedenen Brechungsexponenten verfolgte, gelangte er für die Vereinfachung seines Problems zur Aufstellung seiner bekannten drei Paar Cardinalpunkte, der Haupt-, Brenn- und Knotenpunkte. Möser als Erster und nach ihm Listing sind unter denen in erster Reihe aufzuzählen, welche die Gaus'schen Probleme auf's Auge übertrugen und die Cardinalpunkte des menschlichen Auges aus den bisher ausgeführten Bestimmungen der Form der brechenden Flächen berechneten. Bevor wir indessen näher auf die dadurch vorbereiteten Arbeiten über den Gesammtbau des Auges eingehen, muss hier noch Senf aufgeführt werden, welcher 1846 in Dorpat nach einer nicht bekannten Methode nicht nur die Scheitelkrümmung der Hornhaut gemessen, sondern auch den Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautaxe, wie die Ellipcität der Hornhaut als Erster erkannt und berechnet hatte.

War somit mit den Gaus'schen dioptrischen Untersuchungen eine neue weite Bahn der Forschung eröffnet, so fand sich nun glücklicherweise in unserem grossen Physiologen und Physiker von Helmholtz der Mann, welcher mehr als seine Vorgänger insgesammt, dieselben für die Optik, Physiologie und Ophthalmologie zu verwerthen vermochte. — Ihm war es nicht entgangen, dass durch die nicht zu eliminirenden Fehler, welche durch die unvermeidlichen Bewegungen des Auges hervorgerufen wurden, eine genaue Messung der Bildgrösse der Spiegelbilder und somit der Krümmung der spiegelnden resp. brechenden Flächen so lange unmöglich bleiben würde, als nicht ein anderer Messungsmodus ausführbar wäre. — Zu dem Zwecke schuf derselbe sein bekanntes Ophthalmometer (1854). Weiter verdanken wir ihm die Entwicklung und Ausarbeitung der Gaus'schen Formeln zu dem Grade

der Vereinfachung, welcher ihre Nutzanwendung für die Bestimmung der optischen Constanten des Auges so sehr erleichtern sollte.

Nicht nur die Krümmung der Hornhaut und ihr Bau in seinen Einzelheiten somit, sondern auch die Krümmung der Linsenflächen wurde von ihm und seinen Schülern ophthalmometrisch bestimmt. Desgleichen wurden die Abstände der brechenden Flächen von einander gemessen und die Brechungsexponenten der brechenden Medien einzeln am todten Auge nach neu ersonnenen Methoden berechnet. Aus diesen Rechnungsdaten liess sich alsdann der physikalische Bau des Auges, wenngleich mühsam und nicht ohne Zuhülfenahme schematischer Werthe, welche bei Umrechnung der wirklichen Grösse der Spiegelbilder aus der gemessenen scheinbaren Grösse derselben nicht zu umgehen waren, bestimmen.

Diese Methode der Bestimmung der optischen Constanten des Auges blieb bis zum heutigen Tage die vorherrschende, ja fast alleinige. Auch Coccius in seinem Doppelbrechungsophthalmometer mass im Grunde genommen nach gleichen Principien, nur war der Gang der Beobachtung ein anderer und trat an Stelle der Helmholtz'schen planparallelen Platten ein doppelbrechender isländischer Kalkspath zum gleichen Zweck der Erzeugung von Doppelbildern eines leuchtenden Spiegelbildchens.

Erst im Jahre 1872 war es wiederum Helmholtz, welcher seinen Schülern Dr. Mandelstamm und mir, als sich uns bei Bestimmung der Tiefe der vorderen Augenkammer, wie auch des Ortes und der Krümmungsflächen der Linse grosse Schwierigkeiten entgegenstellten, welche genaue Messungen vereitelten, das Princip der mikrooptometrischen Messung angab. Statt mit dem Ophthalmometer wurden von uns mittelst des Mikroskop von Liebreich die Abstände und Krümmungsradien der brechenden Medien im gleichen Beobachtungsgange aber nach anderem

Princip bestimmt. Auch Donders berechnete (1872) die Tiefe der vorderen Kammer mittelst des Mikroskops in ähnlicher Weise.

Eine directe aus der Versuchsanlage unmittelbar sich ergebende Bestimmung eines der optischen Constanten des Auges ist bisher nur einmal versucht worden. Volkmann beleuchtete zu dem Zweck das Auge lateral derart, dass medial ein leuchtendes Bild der Sklera im pigmentarmen Auge entworfen wurde. War nun zuvor der Abstand dieses Scleroticalbildchens von der Hornhaut gemessen, so wurde von demselben aus im gezeichneten horizontalen Querschnitt des Auges eine Verbindungslinie unter gleichem Winkel, als ihn die einfallenden Strahlen machen, zur Gesichtslinie gezogen. Der Schnittpunkt beider stellt dann den Knotenpunkt des Auges vor. Diese Methode musste indessen fehlerhafte Werthe liefern.

1) Weil statt der Hornhautaxe die Gesichtslinie gewählt worden war;
2) weil die Gesetze der Linsenberechnung nur für kleine Einfallswinkel richtig sind;
3) weil das Scleroticalbildchen keinen leuchtenden Bildpunkt, sondern eine mathematisch gedachte, immerhin ausgedehnte Fläche ohne scharfe Begrenzung darstellt.

Eine sehr sinnreich erdachte Methode von Landolt (Zehender, klin. Monatsbl. 1873, p. 480), um die Axenlänge des lebenden Auges mittelst der Grösse in verschiedener Entfernung projicirter Nachbilder zu bestimmen, leidet an den Mängeln jeder subjectiven Methode und setzt die Lage des ersten Knotenpunktes in der Ruhe, wie bei Accommodation als bekannt voraus, basirt demnach auf Einführung schematischer Werthe.

Ferner schlägt an gleicher Stelle derselbe Autor vor, den von Th. Young zum Beweise für die Unveränderlich-

keit der Augenaxe angestellten Versuch zu einer ungefähren Schätzung der Augenaxenlänge zu benutzen. Lässt man ein Auge sich möglichst stark nach innen wenden und sucht man den Punkt auf der lateralen Sceralhälfte auf, an welchem ein erzeugtes Druckphosphen mit dem Fixirobject bei seiner Projection nach aussen zusammenfällt, misst man ferner den Abstand dieses Sceralpunktes von dem Hornhautscheitel, so erhält man die Axenlänge des Bulbus. Sonstige Messungsmethoden der optischen Constanten existiren meines Wissens nicht. Mit Ausnahme der von Volkmann für den Knotenpunkt angegebenen, welche ihrer aufgeführten Fehler wegen keine Nachahmung gefunden hat, und der ungefähren Schätzung der Axenlänge nach Th. Young ist eine Bestimmung des physikalischen Baus des Auges nur unter Zuhülfenahme schematischer Werthe mittelst Ophthalmometer oder Mikroskop bisher ausführbar gewesen.

Drei und zwanzig Jahre waren seit Ausführung der ingeniösen Arbeiten von Helmholtz verflossen und nicht mehr als 27 Augen von 9 Beobachtern ophthalmometrisch resp. mikroophthalmometrisch gemessen worden*), fürwahr eine geringe practische Ausbeute bei dem hohen theoretischen Triumphe, welcher dem Schöpfer der Methode zuzusprechen ist. Selbst die Richtigkeit dieser Messungen wurde indessen noch von Donders schon im Jahre 1860**), desgleichen von O. Becker***) und von Mauthner†) bestritten. Letzterer kleidet sein Urtheil über die praktische

*) cfr. Untersuchung über die optischen Constanten emmetropischer Augen von Dr. v. Reuss. Arch. f. Ophth. Bd. XXIII. Abth. 4, p. 230. Bei Nichtberücksichtigung dreier Kinderaugen (Woinow) reducirt sich die Zahl der vollständig ihren Constanten nach bestimmten Augen auf nur 13 (l. c. p. 244).

**) Arch. f. Ophth. Bd. VII. Abth. 1, p. 159.

***) Graefe-Sämisch Handb. Bd. V. Abth. 1, p. 436.

†) 1876er Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges pag. 426.

Unbrauchbarkeit derselben zur Bestimmung der Sehaxenlänge in folgende Form: „Es muss deshalb offenbar der fehlerhaft angenommene Brechungsindex der Linse es verschulden, dass die Resultate bei der Bestimmung sämmtlicher Constanten des lebenden Auges offenkundig unrichtig sind. Es sind nämlich durchgehends die Werthe für die Brennweiten des Auges viel zu klein ausgefallen, es ist in specie, was uns hier zunächst interessirt, der Abstand des hinteren Brennpunktes vom vorderen Hornhautpol, resp. die Axenlänge in nicht zutreffenden Maassen gegeben."

So liegt auch heute noch im Wesentlichen die Sache, trotzdem nach dem Erscheinen der Mauthner'schen Vorlesungen vom Dr. von Reuss eine ausserordentlich grosse Zahl von ophthalmometrischen Messungen veröffentlicht worden ist*), welche sich diesen Ansprüchen obiger Autoren, deren Urtheil auf Messung aphakischer Augen, wie auf unmittelbare Messung an enucleirten Augen basirt, hinsichtlich der Sehaxenlänge streng adaptiren.

Auch heute am Tage entbehren wir nicht nur einer exacten Messmethode der optischen Constanten des Auges ohne Einführung schematischer Werthe, sondern überhaupt einer jeden Methode, welche es uns ermöglichte, mittelst Massenbeobachtung am ametropischen Auge wissenschaftliche Mittelwerthe zu finden, durch welche der betreffende Refractionszustand exact charakterisirt wäre. Nicht nur ob Axen- oder Krümmungsmyopie resp. Hyperopie vorliegt, sondern eine Reihe der wichtigsten Fragen physiologischer, wie pathologischer Art aus diesem Gebiete bleibt unerledigt nnd würde uns jede zur Gewinnung individualisirter Werthe brauchbare Messmethode der optischen Constanten den Schlüssel zu einer Umgestaltung einer

*) Arch. f. Ophthalmol. Bd. XXIII. Abth. 4 und Bd. XXVI. Abth. 3.

grossen Disciplin der Augenheilkunde liefern, welche heute noch sich mit schematischen Werthen zu behelfen genöthigt ist.

---

1. Bestimmung des Winkels zwischen Gesichtslinie und optischer Axe des Auges, wie des Abstandes des ersten Knotenpunktes von der Cornea.

Bekanntlich knüpft sich für das Studium der Bauanlage des Auges ein grosses theoretisches und nicht geringeres praktisches Interesse an die Bestimmung des Winkels, welchen die Gesichtslinie mit der Symmetrieaxe des Auges macht. Der Winkel, welchen beide mit einander bilden, hat seinen Scheitelpunkt im ersten Knotenpunkt des Auges. Unter der Annahme, dass die Hornhautaxe mit der optischen Axe des Auges zusammenfällt, der Annahme der Centrirung des zusammengesetzten dioptrischen Systems, unter welcher alle unsere dioptrischen Formeln abgeleitet sind, sind die einzigen bisher bekannten Methoden zur Bestimmung dieses Winkels von Helmholtz und Donders ausgeführt worden.

Helmholtz ging bei seiner ersten von Knapp benutzten Methode von der Voraussetzung aus, dass zwei gleichweit vom Hornhautcentrum gelegene Punkte der Hornhautellipse gleiche Krümmungsradien besitzen müssten und bestimmte daraus mittelst ophthalmometrischer Messung die Lage des Hornhautcentrums, wie weiter bei gegebener Lage der Gesichtslinie den Winkel zwischen beiden. Bevor noch auf den Gang der Beobachtung, wie auf die Art und Weise der Berechnung eingegangen werden soll, wird wohl schon a priori bestritten werden müssen, dass diese supponirte Regelmässigkeit der Krümmungsoberfläche — keiner Kugelfläche, sondern eines dreiachsigen Ellipsoids in der geforderten Strenge besteht.

Donders hingegen bestimmte als Hornhautcentrum den Punkt derselben, welcher bei Drehung des Auges um einen gleichen Winkel sich mit den mittelst Lichtbildchen einvisirten gegenüberliegenden Hornhauträndern deckte und gleichzeitig mit demselben den Winkel zwischen Gesichtslinie und Hornhautcentrum.

Die dritte der bisher ausgeführten Messungsmethoden ist die von Helmholtz dem Dr. Mandelstam aus Kiew angegebene. Aehnlich der früheren im Princip wurde bei letzterer dieser Winkel aus den zwei seitlichen Abständen von der Gesichtslinie bestimmt, bei welchen zwei Hornhautreflexbilder gleiche Grösse zeigten bei gleicher Plattendrehung am Ophthalmometer. —

Mauthner*) ist der Erste gewesen, welcher klargelegt hat, dass durch keine dieser drei Methoden thatsächlich der Winkel zwischen Gesichtslinie und optischer Axe bestimmt werden kann, sondern nur der Winkel zwischen Blicklinie und optischer Axe, welcher seinen Scheitelpunkt im Drehpunkt, nicht im Knotenpunkt des Auges hat. Ein näheres Eingehen auf diese kritische Darlegung glauben wir uns daher ersparen zu dürfen, da, leicht Jedermann zugänglich, obiger Autor mit der ihn auszeichnenden klaren Darstellungsgabe den Beweis dafür bereits eingehend erbracht hat.

Wenn nun Mauthner auf Grundlage einer grossen Zahl von eigenen Messungen der Behauptung Woinow's und Dobrowolsky's im Gegensatz zu den von Helmholtz, Knapp und Donders gemachten Angaben beipflichtet, derzufolge die Hornhautaxe nicht durch die Hornhautmitte geht, so muss daran erinnert werden, dass dieses Urtheil desselben auf obigen Methoden von Helmholtz basirt, für deren Unzulänglichkeit derselbe sich zum

---

*) cfr. Vorlesungen über die Refractions- und Accommodationsfehler des Auges.

Kritiker aufgeworfen hat. Ferner muss, um zu einer Schlussfolgerung auf Grundlage dieser Methoden zu gelangen, von der Voraussetzung eines streng symmetrischen Bau's der Hornhaut ausgegangen werden.

Wie unsicher gerade diese Annahme ist, wenn um 15—20° von der Gesichtslinie zur Peripherie hin Messungen vorgenommen werden, liegt bei der Feinheit der zur Unterscheidung kommenden Fragen im vorliegenden Falle auf der Hand.

Ueberdies hat bei dieser kritischen wie experimentellen Verfeinerung der ursprünglichen Interessenfrage eine Verschiebung der Sachlage stattgefunden, auf welche hier verwiesen werden soll.

Der Natur der Sache nach concentrirt sich das Hauptinteresse nicht auf den Winkel, welchen die Gesichtslinie mit der Hornhautaxe macht, sondern auf den Winkel, welchen erstere mit der optischen Axe des Auges bildet. Letzterer aber geht vom hinteren Pol durch die Knotenpunkte und schneidet die Hornhautmitte. Es steht somit mit der Frage nach diesem Winkel in keinem Zusammenhang die Frage, ob der Krümmungsscheitel der Hornhaut mit ihrer Mitte zusammenfällt oder nicht. Nur durch das Zusammenfallenlassen der optischen mit der Hornhautaxe, wie es bei der Helmholtz'schen Methode der Winkelbestimmung erforderlich ist, wird ein für jede andere Methode nicht erforderlicher Zusammenhang zwischen beiden gegeben. — Wenn nun die Annahme zulässig ist, dass ein von der Hornhautmitte durch die Knotenpunkte gezogene Linie den hinteren Pol trifft und erhebliche den Gang praktischer Rechnungsresultate beirrende Abweichungen von dieser Form der Centrirung dürfen wohl bis auf weiteren Nachweis als ausgeschlossen betrachtet werden, so kann dieser Winkel auch ohne jede Kenntniss der Hornhautkrümmung bestimmt werden.

Wenn demnach nach den bisherigen Methoden der Winkel zwischen Gesichtslinie und optischer Axe nicht oder nur unter Zuhülfenahme schematischer oder früher bestimmter Werthe für die optischen Constanten des Auges bestimmt werden konnte, so bewog mich das gerade, ein neues, von dem früheren abweichendes Verfahren zu ersinnen, welches unmittelbar ausführbar ist.

Bekanntlich zeigt jede planparallele Glasplatte die Eigenschaft, dass dieselbe einen durch sie hindurch erblickten Gegenstand ohne seitliche Verschiebung nur dann wahrnehmen lässt, wenn die Platte senkrecht zur Gesichtslinie steht. Dadurch ist die Lage der Gesichtslinie zur Platte bestimmbar.

Entwirft ferner ein Beobachter einen leuchtenden Reflex im Hornhautcentrum des beobachtenden Auges, so darf auch derselbe, resp. ein ihn deckender Visirfaden durch die Platte gesehen nur dann dem Beobachter unverrückt erscheinen, wenn die Platte senkrecht zum Hornhautreflex resp. der Hornhautaxe steht. Der Winkel nun, welchen die Platte in der ersten Stellung (senkrecht zur Gesichtslinie) mit der zweiten Stellung (senkrecht zur Hornhautaxe) macht, demnach die Plattendrehung, stellt den gesuchten Winkel zwischen Gesichtslinie und optischer Axe dar.

Zur Bestimmung des Orts der Hornhautmitte können verschiedene Methoden benutzt werden:

1) Kann man nach bekannter Methode den Punkt in der Cornea suchen, dessen von ihm entworfene Reflexbilder mittelst Drehung der Ophthalmometerplatten verdoppelt, gleichzeitig die gegenüberliegenden Hornhautränder berühren. Um nach dieser Methode brauchbare Werthe zu finden, müssen die entsprechenden Hornhautränder am besten mittelst Silberspiegel grell beleuchtet werden.

2) Der zweite aber schwierigere zur Bestimmung des Hornhautcentrums in Betracht kommende Weg ist derjenige der binocularen Verschmelzung beider Augen des Beobachteten zu einem cyclopischen Gesammtauge.*) In einem solchen Verschmelzungsbilde erscheint bekanntlich ein Hornhautreflex nur dann wieder central und im gleichen Tiefenabstande, wenn derselbe in jedem einzelnen Auge axial gelegen war. Für den ungeübten Beobachter ist bei dieser Methode ein Theater-Perspectiv zur binocularen Verschmelzung beider Augen des Beobachteten erforderlich.

3) Die dritte Methode zur Bestimmung des Hornhautcentrums, im Princip mit der ersten zusammenfallend, liefert uns die vor dem Auge des Beobachteten postirte Glasplatte. Wenn bei gleichem Drehungswinkel derselben die paralactische Verschiebung des Hornhautreflexes, resp. des ihn deckenden axial zur Plattendrehung aufgehangenen Fadens eine derartige ist, dass derselbe successiv auf die gegenüberliegenden Hornhautränder verschoben wird, so ist damit die Lage des Hornhautcentrums bestimmt. Diese Methode setzt den Besitz einer schlierenfreien, optisch reinen Platte von genügender Dicke voraus.

Welcher von diesen Wegen von uns gewählt worden ist, wird Dr. Uhthoff demnächst, welcher die Ausführung dieser Bestimmung des Winkels zwischen Gesichtslinie und optischer Axe praktisch ausgeführt hat, mittheilen.

Auf solche Weise kann nicht nur obiger Winkel, sondern im Anschluss daran auch die Lage des vor-

*) cfr. Arch. f. Ophth. Bd. XIX. Abth. 1.

deren Knotenpunktes im Auge ohne Zuhülfenahme schematischer Werthe bestimmt werden.

Ist der Winkel gemessen und deckt sich der Hornhautreflex mit dem Visirfaden, welcher mit der Drehungsaxe der Platte zusammenfällt und misst man den Punkt, wo in der Axenebene der Platte die Gesichtslinie dieselbe schneidet, so erhält man als den Quotient aus der Tangente des Winkels zwischen Gesichtslinie und optischer Axe und dieser Distanz (zwischen Schnittpunkt der Gesichtslinie und Hornhautaxe in der Plattenebene) im Nenner, den Abstand der bezüglichen Plattenebene vom vorderen Knotenpunkte des Auges. Nun braucht man von derselben die unmittelbar zu messende Distanz zwischen der Plattenebene und dem Hornhautscheitel abzuziehen, um den gewünschten Abstand zwischen Hornhautscheitel und dem ersten Knotenpunkte des Auges zu gewinnen. Die Feinheit der Messmethode mittelst des Princips der paralaktischen Verschiebung stellt ferner eine Bestimmung des Vorrückens des Knotenpunktes bei der Accommodation in Aussicht.

Somit wäre einer der Cardinalpunkte des menschlichen Auges, wie der Winkel zwischen Gesichtslinie und optischer Axe zum ersten Mal ohne Zuhülfenahme schematischer Werthe bestimmbar.

---

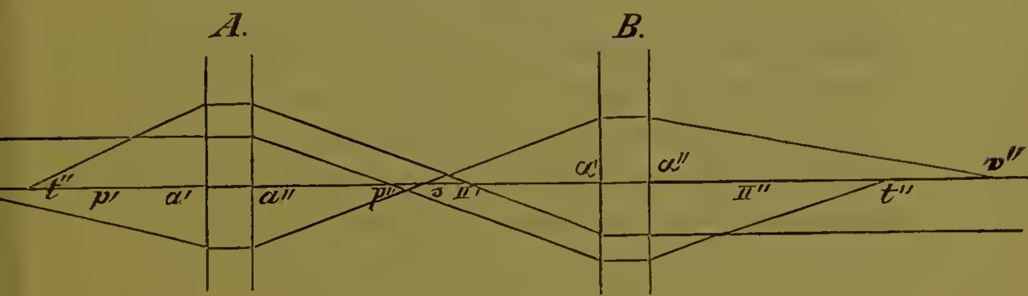
2. Bestimmung der hinteren Brennweite des Auges.

Umstehende aus der Phys. Opt. von Helmholtz entlehnte Figur zeigt den Gang der Strahlen auf die Hauptebenen zweier Systeme bezogen zur Auffindung der Hauptebene, wie der Brennpunkte des combinirten Systems.

Der erste Brennpunkt des combinirten Systems ist als Bild, welches das System A vom ersten Brennpunkte π' des Systems B entwirft, aufgefasst. Ebenso ist der zweite

Brennpunkt des combinirten Systems das Bild, welches das zweite System B von dem zweiten Brennpunkte p″ des ersten Systems entwirft.

Figur 1.



Die Formeln für beide sind nach Helmholtz:

$$1)\quad a'\,t' = \frac{(d - \varphi')\,f'}{d - \varphi' - f''},$$

$$2)\quad a''\,t'' = \frac{(d - f'')\,\varphi''}{d - \varphi' - f''}.$$

d = Abstand des ersten Hauptpunktes des zweiten Systems vom zweiten Hauptpunkte des ersten Systems.

f′, f″ = Brennweiten des ersten Systems.

φ′, φ″ = Brennweiten des zweiten Systems.

Dieselben sind die bekannten Formeln:

$$\left.\begin{array}{l} f' = \dfrac{F'\,f''}{f'' - F''} \\[2ex] f'' = \dfrac{F''\,f'}{f' - F'} \end{array}\right\} \text{ aus } \frac{F'}{f'} + \frac{F''}{f''} = 1 \text{ abgeleitet}$$

für das Verhältniss der conjugirten Vereinigungsweiten von Object zu Bild in Bezug auf die Brennweiten.

Zur Bestimmung der Hauptpunkte des combinirten Systems kommt nach Helmholtz zur Berücksichtigung, dass jeder des anderen Bild sein soll und, da sich der erste auf den Gang der Lichtstrahlen im ersten, der zweite auf den im letzten Mittel bezieht, so müssen die-

selben ein gemeinschaftliches Bild im mittleren Medium haben und ferner gleich gross und gleich gerichtet sein.

Unter Beachtung dieser Bedingungen gelangt Helmholtz zu dem Ausdrucke:

$$3)\quad \frac{a_{,,}\ s}{a''\ p''} = \frac{\alpha_{,}\ s}{\alpha_{,}\ \pi_{,}},$$

woraus sich $a'\ \nu'$ und $\alpha''\ \nu''$ nach der Formel für conjugirte Vereinigungsweiten ableiten lassen.

Damit sind nun auch als Differenz von 1 und 3) die vordere und als Differenz von 2 und 3) die hintere Brennweite des combinirten Systems bestimmt.

$$4)\quad F' = \frac{\varphi'\ f'}{\varphi' + f'' - d},$$

$$5)\quad F'' = \frac{\varphi''\ f''}{\varphi' + f'' - d}.$$

„Will man nun die Knotenpunkte, nicht die Hauptpunkte suchen, so kann man ein ähnliches Verfahren einschlagen, wie für die Hauptpunkte, wobei man die Bedingung benutzt, dass die linearen Dimensionen zusammengehöriger Bilder in den Knotenebenen sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse der betreffenden Medien verhalten."

„Es seien in Figur jetzt a' und a'', α' und $\alpha_{,,}$ nicht mehr die Hauptpunkte, sondern die Knotenpunkte der beiden Systeme A und B, ν' und ν'' die Knotenpunkte des combinirten Systems, ihr gemeinsames Bild im mittleren Medium der Punkt s", so gelangt man zu dem gleichen Ausdrucke, wie zuvor für die Hauptpunkte, jetzt für die Knotenpunkte.

$$6)\quad \frac{a''\ s}{a''\ p''} = \frac{\alpha'\ s}{\alpha_{,}\ \pi'}.$$

Bedeutet jetzt a, t' (s. Formel 1) auf die Knotenebenen bezogen den Abstand des vorderen Brennpunktes des combinirten Systems vom ersten Knotenpunkte des ersten Systems, so gilt natürlich auch für diesen

Bildabstand von der ersten Knotenebene des ersten Systems die Formel für die conjugirten Vereinigungsweiten $\left(g' = \frac{G' f''}{f'' - G''}\right)$ bei der oben gestellten und von Helmholtz bewiesenen Voraussetzung, dass der erste Brennpunkt des combinirten Systems das Bild darstellt, welches durch das erste System vom ersten Brennpunkte π' des zweiten Systems entworfen wird. Haben wir conjugirte Vereinigungsweiten, so bleibt es nach bekannten Gesetzen eben gleichgültig, ob wir dieselben auf die Hauptpunkte oder Knotenpunkte eines optischen Systems beziehen, ja gewinnen wir selbst analog gebaute Formeln, wenn wir dieselben auf je ein anderes beliebiges Paar von conjugirten Vereinigungsweiten beziehen. Nur bedeuten die Brennweiten φ' und φ'', f′ und f″ jetzt Abstände, welche nicht auf die Hauptebenen, sondern auf die Knotenebenen bezogen werden, ebenso bedeutet jetzt d den Abstand der ersten Knotenebene des zweiten Systems von der zweiten Knotenebene des ersten Systems.

Da nun $a_{,} r_{,} = \frac{x f''}{x - f'}$ nach Helmholtz ist, wenn jetzt $f'' = a_{,} p_{,}$ und $f' = a_{,,} p_{,,}$ bedeutet und $a_{,} t' = \frac{(d - \varphi'') f''}{d - \varphi'' - f'}$ wird, weil jetzt auf die Knotenebenen bezogen φ'' statt φ' und f″ statt f′ und umgekehrt in die Formel 1) einzusetzen ist, folglich:

$$\text{b)}\quad a_{,} t' - a_{,} r' = \frac{\varphi'' f''}{-d + \varphi'' + f'} = G'.$$

Nach Helmholtz ist auf die Knotenebenen bezogen:

$$x = a'' s,$$
$$y = \alpha' s,$$
$$x + y = d.$$

$$1)\quad \frac{x}{f'} = \frac{y}{\varphi''}$$

$$2)\ \frac{x}{f'} = \frac{d - x}{\varphi''}$$

aus 1) und 2)

$$3)\ x = \frac{f'\,d}{\varphi'' + f'}$$

$$4)\ a'\,r' = \frac{x\,f''}{x - f'}$$

aus 3) u. 4) $a'\,r' = \frac{f''\,d}{d - f' - \varphi''}$

$$5)\ a'\,t' = \frac{(d - \varphi'')\,f''}{d - \varphi'' - f'}$$

$$6)\ \text{folglich}\ a'\,t' - a'\,r' = \frac{\varphi''\,f''}{\varphi'' + f' - d''}$$

$$7)\ \text{ebenso}\ \alpha_{,,}\,t'' = \frac{(d - f')\,\varphi'}{d - \varphi'' - f'}$$

$$\alpha''\,r'' = \frac{d\,\varphi'}{d - \varphi'' - f'}$$

$$G^{xx} = a_{,,}\,t'' - \alpha''\,r'' - \frac{\varphi'\,f'}{\varphi'' + f' - d}.$$

Setzt man nun vor das menschliche Auge eine Glaslinse in einem Abstande, wo d, d. h. der Abstand des zweiten Knotenpunktes der Glaslinse vom ersten Knotenpunkte des Auges gleich der Knoten-Brennweite der Linse ist, so wird Formel 7) = 0, d. h. der zweite Brennpunkt des combinirten Systems liegt in der zweiten Knotenebene des zweiten Systems $\alpha''\,t'' = 0$.....

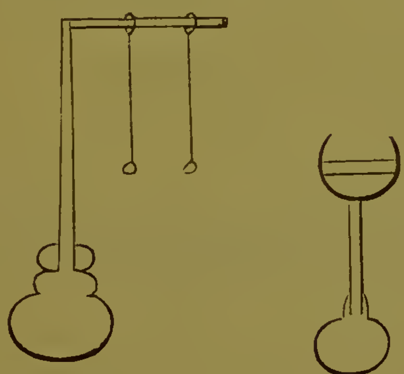
Die Richtigkeit dieser Betrachtung lässt sich gleichfalls erweisen, wenn man bei dem gewählten Abstande $d = f'$ den Gang der aus unendlicher Ferne kommenden Lichtstrahlen verfolgt. Das durch die Glaslinse entworfene convergente Strahlenbündel fällt in einen Abstand $a' = F^2 - F^1$ vom ersten Hauptpunkte des zweiten Systems auf das Auge als leuchtendes Object. Das zu demselben gehörige Bild bezeichnet in seinem Abstande vom zweiten Hauptpunkte des zweiten Systems die zweite

Hauptbrennweite des combinirten Systems, da das leuchtende Object ∞ entfernt von der Glaslinse sich befindet. Die Lage desselben ergiebt sich nach Formel

$$\frac{F^1}{-(F^2-F^1)}+\frac{F^2}{f''}=1 \text{ oder } \frac{F^2}{f''}=\frac{F^2}{F^2-F^1};\ f''=F''-F^1$$

d. h. der zweite Brennpunkt des combinirten Systems liegt im zweiten Knotenpunkte des Auges. — ..... Ebenso wird die erste Knotenpunktsbrennweite G′ des combinirten Systems = f″, d. h. gleich der Knotenpunktsbrennweite der Glaslinse.

Figur 2.



Bringen wir nun in diesem Abstande d = f″ eine Glaslinse *) von möglichst kurzer Brennweite, von welcher oben und unten ein so beträchtlicher Theil gleich weit von ihrem optischen Centrum abgeschnitten ist, dass man bequem durch dieselbe hindurch und gleichzeitig über dieselbe hinwegsehen kann, vor das Auge, postirt in einem festen Gestell, dann erübrigt noch Folgendes:

Zwei Objecte aus je zwei feinsten Fäden, in einem verstellbaren Abstande senkrecht hängend, werden vor der

*) cfr. Arch. f. Augen- und Ohrenheilkunde von Knapp, pag. 152 und Mauthner's Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.

Convexlinse und vor dem Auge postirt. — Wird nun in einem gewissen Abstand ein deutliches Bild des einen nahegelegenen Fadenpaars durch die Convexlinse auf der Netzhaut wahrgenommen, so wird an dem zweiten so entfernt gelegenen Paar, dass das Auge bei freier Betrachtung derselben durch den von der Convexlinse nicht verdeckten Theil der Pupille hindurch ohne jede oder jede nennenswerthe Accommodationsanspannung ein deutliches Netzhautbild von demselben erhält, der Abstand der Fäden so lange geändert, bis beide Objecte gleich grosse Bilder auf der Netzhaut entwerfen. Diese Einstellung ist mit ausserordentlicher Schärfe bei dieser Versuchsanlage möglich.

Alsdann gelten folgende Formeln:

$$8)\quad \frac{b}{a} = -\frac{(g'' - G'')}{G'} = -\frac{\varphi'}{f''}.$$

Liegt der zweite Brennpunkt des combinirten Systems bei obigem Abstand der Glaslinse im zweiten Knotenpunkte des zweiten Systems, also des Auges, so bedeutet, da ein deutliches Bild auf der Netzhaut nach Voraussetzung entworfen werden sollte, $g'' - G''$ die gleiche Distanz, welche wir auf das zweite System (Auge) bezogen, mit $\varphi' = G^{xx}$ = Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte (= Netzhaut) zu bezeichnen pflegen.

Die Differenz zwischen Abstand der Netzhaut bis zum zweiten Knotenpunkte des combinirten Systems (welcher vor der Netzhaut gelegen und vor den zweiten Knotenpunkt des Auges um die Brennweite der Glaslinse, dividirt durch den Brechungsexponenten, vorgerückt ist) und dem Abstande des hinteren Brennpunkts des combinirten Systems (= zweiter Knotenpunkt des Auges) vom zweiten Knotenpunkte des combinirten Systems ist gleich obigem Abstand zu setzen.

Ferner war bereits früher (s. Formel 6) bewiesen, dass, wenn d = f″ ist, G′ = f″ (der Brennweite der Glaslinse wird).

Da für das frei gesehene Object:

$$9)\ \frac{a^x}{b} = -\frac{(g^x - \varphi'')}{\varphi'} \left(\text{nach Formel } \frac{a}{b} = -\frac{g' - G''}{G''}\right)$$

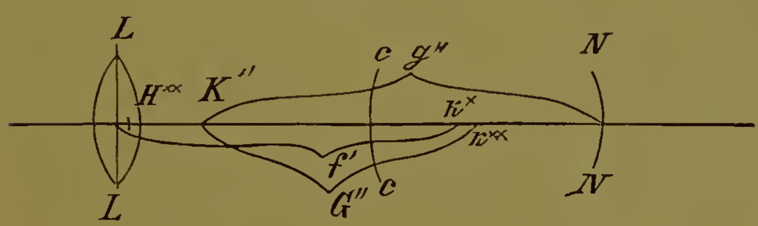
ist,

so folgt aus 8) und 9)

$$9a)\ \frac{a_x}{b} = \frac{g^x - \varphi''}{f'} \text{ oder } g^x - G^x = f' \left(\frac{a^x}{a}\right),$$

$$10)\ \varphi'' = G^x = g^x - f' \left(\frac{a^x}{a}\right).$$

Figur 3.



Je kleiner der Werth von g^x ausfällt, d. h. je mehr wir uns mit den höheren Graden der Ametropie bei unseren Messungen zu befassen haben, um so weiter entfernen wir uns von dem Missstande, welcher durch die Einführung für das Auge annähernd ∞ grosser Fernpunktsabstände verknüpft ist.

b = Grösse des Bildes.

a = Grösse des durch die Linse gesehenen Objectes.

a^x = Grösse des frei erblickten Objectes.

f″ u. f′ = Brennweiten der Glaslinse.

g″ = Entfernung des Bildes von der zweiten Knotenebene des combinirten Systems.

G′ u. G″ = Abstand des ersten resp. zweiten Brennpunktes des combinirten Systems vom ersten resp.

zweiten Knotenpunkte (K′, K″) des combinirten Systems.

g^x = Abstand des Objectes vom ersten Knotenpunkte des Auges.

φ' u. φ'' = Hauptbrennweiten des Auges von den Hauptebenen aus gerechnet.

G^x u. G^{xx} = Abstand der Brennpunkte des Auges von den Knotenpunkten des Auges.

Führt man bei obiger Versuchsanlage den Versuch durch, so musste bei einer Brennweite der Convexlinse von 98 Mm. und dem Abstand meines Knotenpunktes von der Cornea = 6,8 Mm., wenn das näher stehende Object eine Grösse von 3,5 Mm. hatte, das 831 Mm. vom Knotenpunkte des Auges entfernte Object eine Grösse von 29 Mm. besitzen, um mir gleich gross zu erscheinen. Setzt man diese Werthe in die Formel 10, so ergiebt sich für mein Auge eine hintere Brennweite von 19,6 Mm., welche mit den früher mikrooptometrisch von mir bestimmten von 19,73 Mm. genügend scharf übereinstimmt.

Bemerkt werden muss, dass der Abstand des entfernteren Objectes bis zum optischen Centrum der Linse unmittelbar gemessen wurde. Wurden nun ferner von der Brennweite der Linse 6,8 Mm.*) = Knotenpunktabstand von der Cornea, abgezogen = 91,2 Mm. und an einem Massstabe markirt, so musste der eine Endpunkt dieser Distanz mit dem optischen Centrum der Linse, der andere mit dem Scheitel der Hornhaut zusammenfallen. Um letzteren Abstand zu bestimmen, muss ein Fernrohr seitlich vom Auge postirt werden und dann der betreffende Theilstrich des Maasstabes mit dem Scheitel der Hornhaut in bekannter Weise einvisirt werden von einem zweiten Beobachter, welcher während der ganzen Dauer des Ver-

*) Arch. f. Ophth. Bd. XVIII. Abth. 1, pag. 179.

suchs darauf achtet, dass die einmal vom ersten Beobachter eingenommene Stellung des Auges nicht geändert wird.

Bestimmung der vorderen Hauptbrennweite des Auges.

Da uns nach Formel 9 a) im Ausdruck $g^x - G^x$ der Abstand des Objects vom vorderen Brennpunkt und durch den bekannten Abstand der Cornea vom Object die Distanz des ersten Brennpunktes von der Cornea gegeben ist, so brauchen wir nur nach von Reuss *) für das emmetropische Auge im Mittel 1,28 Mm., für das myopische 1,24 Mm. und für das hyperopische 1,31 Mm. zu letzterem Werthe zu addiren, um die vordere Brennweite zu erhalten. Zum gleichen Resultat gelangen wir, wenn wir von der vorderen Knotenpunktsbrennweite den Abstand des vorderen Knotenpunktes von der Cornea subtrahiren und dann den Abstand des ersten Hauptpunktes von der Cornea addiren. 19,73 Mm. — 6,8 Mm. + 1,842 Mm.**) = 14,77 Mm. = F'. Setzen wir n als gegeben voraus, was bei den nur geringen Abweichungen der verschiedenen Messungen des Brechungsverhältnisses den individuellen Werth bei gemessener hinterer Brennweite nicht nennenswerth beeinträchtigen dürfte, so ergiebt sich aus der Formel $F^1 = n F''$ der Werth für $F' = 14,67$ Mm.

Im Einklange mit unseren früheren Betrachtungen lässt sich die vordere Brennweite des Auges indessen auch folgendermassen berechnen:

Zur Bestimmung des Abstandes des vorderen Brennpunktes des zusammengesetzten Systems vom ersten

*) l. c. pag. 246.

**) cfr. Arch. f. Ophth. Bd. XVIII. Abth. 1.

Hauptpunkte des ersten Systems (Glaslinse) dient folgende Formel (cfr. Helmholtz l. c. pag. 56):

$$a' t' = \frac{(d^x - \varphi') f'}{d^x - \varphi' - f''}$$

$f' f''$ = Brennweiten der Glaslinse.

Auf die Hauptebene bezogen wird aus dem uns bekannten Abstande d der zweiten Knotenebene des ersten, von der ersten Knotenebene des zweiten Systems (Auge) $d^x = d - (\varphi'' - \varphi')$, wobei d jetzt zon der zweiten Hauptebene (nicht Knotenebene) des ersten Systems ab zu rechnen ist. Setzen wir diesen Werth in obige Formel ein, so verwandelt sich der Ausdruck in folgenden:

$$11) \quad a' t' = \frac{(d - \varphi'') f'}{d - \varphi'' - f''}$$

Ebenso verwandelt sich die Formel

$$h' = \frac{d^x f'}{d^x - \varphi' - f''}$$

für den Abstand des ersten Hauptpunktes des zusammengesetzten Systems von der ersten Hauptebene des ersten Systems (Glaslinse) in folgenden Ausdruck:

$$12) \quad h' = \frac{d^x f'}{d - \varphi'' - f''}$$

wo d gleichfalls von der zweiten Hauptebene des ersten Systems ab zu rechnen ist.

Ist nun obigen Voraussetzungen zufolge der Knotenebenenabstand beider Systeme, $d = f'$ (Brennweite der Glaslinse) oder der Hauptebenenabstand $d^x = d - (\varphi'' - \varphi')$ gemacht, so berechnet sich der Abstand des Bildes von der zweiten Hauptebene des zusammengesetzten Systems nach bekannter Formel:

$$f^{xx} = \frac{f^{x}(f^{xx} - F^{xx})}{F^{x}}$$

oder $$\frac{f^{xx} = f^{x}\,\varphi''}{l}$$

l = Hauptbrennweite der Glaslinse,

φ'' = hintere Hauptbrennweite des Auges,

f^{xx} = Abstand des Bildes von der zweiten Hauptebene des combinirten Systems,

f^{x} = Abstand des Objects von der ersten Hauptebene des combinirten Systems,

F^{xx} = Brennweite der Glaslinse = l,

$F^{x} = \frac{l}{n}$

F^{xx} und F^{x} = Hauptbrennweiten des combinirten Systems.

Wenn wir zu dem bekannten Abstande des zweiten Hauptpunktes der Glaslinse von der Cornea, den Abstand des ersten Hauptpunktes des Auges von letzterer(=1,28 Mm. für das emmetropische Auge) hinzu addiren, so sind uns alle Grössen zur Bestimmung von h' gegeben.

Da ferner durch den Versuch der Objectsabstand (cfr. Versuch pag. 317) von dem ersten Hauptpunkt der Glaslinse gegeben war, so brauchen wir nur den Werth von h' (weil negativ, also hinter dem ersten Hauptpunkte des ersten Systems gelegen) hinzuzuaddiren, um f^{x} zu erhalten.

Ist jetzt f^{xx} auch berechenbar, so braucht man nur F^{xx} davon zu subtrahiren, um $\varphi' = f^{xx} - F^{xx}$ den gesuchten Werth für die vordere Brennweite des Auges zu erhalten.

Nach Formel 12) bestimmt sich h' = — 498,5 Mm., addirt man dazu f (den Abstand des näheren Objects vom ersten Hauptpunkt der Glaslinse) = 85 Mm., da h' negativ, also hinter dem ersten Hauptpunkt des ersten Systems gelegen ist, so erhält man für f^{x} = 583,5 Mm. (Abstand des

Objectes vom ersten Hauptpunkte des combinirten Systems.) Dividirt man diesen Werth durch 99,7 (Hauptbrennweite der Linse) und multiplicirt denselben mit 19,6 (= hintere Brennweite des Auges) so erhält man f^{xx} = 113,6 Mm., folglich $f^{xx} - F^{xx} = 113{,}6 - 99{,}7$ Mm. = 14,9 Mm. = φ' als vordere Hauptbrennweite des Auges.

Bestimmung der Grösse des blinden Flecks.

Zur Berechnung der Grösse des Sehnerveneintritts sind jetzt alle Daten gegeben. Bestimmt man in einer Entfernung, bei welcher das Auge als accommodationslos zu betrachten ist, die Objectsgrösse, welche dem blinden Fleck entspricht, so berechnet sich die Grösse des Sehnerveneintritts nach der bekannten Formel.

$$\frac{\beta^1}{\beta^2} = -\frac{l'}{F'} = -\frac{(g' - G')}{G''}$$

$$13)\quad \beta^2 = -\frac{F'}{l'}\beta'.$$

Bestimmung der optischen Constanten für das accommodirte Auge.

Ist wie früher für das accommodirte Auge, jetzt für einen gewählten näheren Abstand die Lage des ersten Knotenpunktes mittelst Glasplatte berechnet, so suchen wir, wie zuvor für das accommodationslose Auge, jetzt in dem gewählten Objectabstande die Objectgrösse, welche dem blinden Fleck entspricht. Ist diese gefunden, so erhalten wir, da n aus dem Quotient der Brennweiten am accommodationslosen Auge $\left(\frac{F'}{F''} = n\right)$ bekannt war, in folgender Weise die vordere Brennweite des accommodirten Auges:

$$14)\quad \frac{\beta^1}{\beta^2} = -\frac{(g' - G')}{G''} = -\frac{g'}{G''} + n$$

$$15)\quad F' = G'' = -\frac{g'}{\frac{\beta^1}{\beta^2} - n}$$

Da nun n gegeben, so sind uns damit auch F'' und G' gegeben und bei früher berechneter Sehaxenlänge und bekanntem Abstande des vorderen Knotenpunktes von der Cornea mittelst Glasplattenversuchs am accommodirten Auge auch die Lage der Haupt- und Knotenebenen, wie auf ihre Abstände von einander bekannt unter Benutzung der für das accommodationslose Auge angegebenen Formeln für den Abstand der Haupt- und Knotenpunkte von den betreffenden Haupt- und Knotenebenen. *)

Wählen wir d, d. h. den Abstand des zweiten Knotenpunktes der Glaslinie vom ersten Knotenpunkte des accommodirten Auges gleich der Brennweite der Linse unter Vernachlässigung der Thatsache, dass der vordere Knotenpunkt im accommodirten Auge vorrückt, da die durch das Vorrücken bedingte Aenderung im Werthe von d, wenn die Brennweite der Convex-Glaslinse nicht zu kurz gewählt war, dabei nicht ins Gewicht fällt, so erhalten wir bei gleicher Versuchsordnung, wie zuvor (cfr. Formel 9 a) den Werth $g^x - G^x$ für das accommodirte Auge. Dadurch sind wir jetzt in der Lage nach Formel 15) die vordere Brennweite des accommodirten Auges für jeden Objectabstand zu bestimmen.

Nach Formel 13) ist die G r ö s s e d e s b l i n d e n F l e c k s

---

*) Alle bisherigen, wie alle folgenden mathematischen Ableitungen, wie Rechnungen gelten nicht nur für ein aus Convexlinse + Auge zusammengesetztes System, sondern unter Berücksichtigung der sich ändernden Vorzeichen auch für ein aus Concavlinse + Auge combinirtes System.

bestimmt gleich 2,05 Mm. Die Entfernung des Objectes von dem vorderen Knotenpunkte des Auges betrug 831 Mm., also vom vorderen Brennpunkt 816,23 Mm, die Grösse des Objectes 114,8—115 Mm., die vordere Brennweite 14,77 Mm.

Nach Formel 15) bei einer Entfernung des Objectes von 180 Mm. von der Cornea, resp. 186,302 Mm. von dem vorderen Knotenpunkte des accommodirten Auges bei einer Objectgrösse von 28,6 Mm., Grösse des Sehnerveneintritts 2,05 Mm. und einem Brechungsquotienten von 1,336 Mm. beträgt die vordere Brennweite des (für 18 Ctm. von der Cornea) accommodirten Auges F^x = 13,85 Mm. Bei den früher mikrooptometrisch von mir vorgenommenen Messungen waren für die vordere Brennweite nur 13,255 gefunden worden, hatte ich damals aber auf ein 5″ von der Cornea entferntes Object accommodirt.

Die hintere Brennweite des accommodirten Auges beträgt demnach bei Annahme desselben Brechungsquotienten, wie beim nicht accommodirten Auge F^{xx} = 18,503 Mm. 824,2 Mm. betrug der Abstand des Objectes von der Cornea bei dem am accommodationslosen Auge angestellten Versuche; 811,4 Mm. der Abstand des Objects vom vorderen Brennpunkt, folglich 1,97 Mm. der Abstand des vorderen Hauptpunktes von der Cornea (14,77 — 12,8 Mm.); die Entfernung des ersten Knotenpunktes vom ersten Hauptpunkte (6,8 — 1,97 Mm.) beträgt 4,83 Mm. Setzen wir für den Abstand der Hauptpunkte resp. Knotenpunkte von einander 0,47 Mm. ein *), ein Werth, welcher von allen bisherigen Beobachtern ziemlich gleich im Mittel gefunden ist (nach v. Reuss im Mittel 0,44 Mm. für Emmetropie, 0,39 für Myopie, 0,49 Mm. für Hyperopie)

*) cfr. Physiol. Optik von Aubert pag. 441 in Graefe-Saemisch.

oder unter Benutzung der an meinem eigenen Auge ausgeführten mikrooptometrischen Bestimmungen den Werth 0,4 Mm., so erhalten wir als Augenaxenlänge

$$1{,}97 + 0{,}4 + 19{,}6 = 21{,}97 \text{ Mm.},$$

bei einem Auge von einer manifesten Hyperopie von c $\frac{1}{24}$.

Bei dem auf ein 18,6 Ctm. vom vorderen Knotenpunkte des Auges entferntes Object accommodirten Auge liegt der zweite Hauptpunkl, da $F^{xx} = G^{x} = 18{,}503$ Mm. beträgt, 21,97 — 18,50 Mm. hinter der Cornea = 3,47 Mm.; der vordere Brennpunkt liegt 13,85 Mm. vor dem vorderen Hauptpunkte des Auges, daher beträgt der Abstand des zweiten Hauptpunktes vom zweiten Knotenpunkte des Auges 18,50 — 13,85 = 4,65 Mm. Unter Benutzung der Formel 14) $\frac{\beta^1}{\beta^2} = \frac{f' - F'}{F'}$ erhalten wir für $f' = 182{,}16$ Mm. und nach Abzug von der Entfernung des Objects von der Cornea = 180 Mm. 2,16 Mm. Abstand des ersten Hauptpunktes von der Cornea (Grösse des Objects 28,6 Mm., 2 Mm. Grösse des Bildes; 13,8 Mm. = F'). Da der zweite Knotenpunkt 8,12 Mm. hinter der Cornea liegt und der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Hauptpunkte 4,65 Mm. beträgt, so liegen die beiden Hauptpunkte, resp. die beiden Knotenpunkte 3,47 — 2,16 = 1,31 Mm. von einander entfernt. Demnach wäre der vordere Knotenpunkt auf ein 18 Ctm. entferntes Object bis auf 6,89 Mm. hinter die Hornhaut gerückt und berechnete sich sein Vorrücken somit auf 0,013 Mm.

Obige Zahlenwerthe, deren genaue Feststellung trotz der Einfachheit der Beobachtungsmethoden im Vergleich zu den bisher gebräuchlichen, bis zu einem gewissen Grade stets das Resultat fortgesetzter Uebung erst sein wird, sollen hier nur als Zahlenbeispiele gelten. Durch dieselben soll der Gang der Rechnung nur gleichsam beispiels-

weise erläutert werden. Ihr etwaiger Widerspruch zu den bisher ophthalmometrisch, wie mikrooptometrisch festgestellten Werthen kann daher letztere nicht erschüttern, wie ihre Uebereinstimmung nicht zur Stütze der Richtigkeit derselben dienen soll. Meine Lebensstellung, wie die mit derselben verknüpften Arbeitsquanta machte eine weitere Verfolgung der Arbeit nach der Richtung hin mir unmöglich und muss ich dafür auf die Theilnahme jüngerer, mehr dazu berufener Kräfte zählen.

Berlin, Druck von W. Büxenstein.